

06.1; 06.2; 06.3; 07; 12

ОКСИДНО-ПОЛОСКОВЫЕ И ЗАРОЩЕННЫЕ $AlGaAs/GaAs$ КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫЕ ЛАЗЕРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ МОС-ГИДРИДНОЙ ЭПИТАКСИИ

Д.З. Гарбузов, С.Н. Жигулин,
И.А. Моккина, Т.А. Налет,
М.А. Синицын, Н.А. Стругов,
А.П. Шкурко, Б.С. Явич

Квантово-размерные $AlGaAs/GaAs$ гетероструктуры раздельного ограничения (РО), выращенные методом газофазной эпитаксии с использованием металлоорганических соединений и гидридов (МОГФЭ), в настоящее время являются основой для изготовления различных типов инжекционных лазеров. В то же время целый ряд вопросов, касающихся как физических параметров МОГФЭ структур, так и конструирования непрерывных лазеров на их основе, еще нуждается в исследовании.

В данном сообщении приводятся результаты изучения влияния длины резонатора на параметры МОГФЭ РО $AlGaAs/GaAs$ лазеров, а также рассматриваются характеристики непрерывных полосковых лазеров, полученных методами оксидной изоляции и заравниванием полуизолирующим слоем $AlGaAs$. Исследованные лазеры были изготовлены из структуры 1847, описанной в работе [1], где рассмотрены соответствующие режимы выращивания этой структуры и приведены ее основные параметры. Здесь же отметим только то, что толщина $GaAs$ - активной области в этой структуре составляла 110 Å, содержание $AlAs$ в волноводных и эмиттерных слоях равнялось 20 и 40 % соответственно.

Рассмотрим сначала результаты, полученные при исследовании оксидно-полосковых лазеров с шириной полоска 60 и 200 мкм, изготовленных из данной структуры. На рис. 1 показаны зависимости от обратной длины резонатора пороговой плотности тока ($I_{п}$) и энергии в максимуме линии генерации для набора таких лазеров.¹

Как видно из рис. 1, минимальные значения $I_{п}$ для наиболее длинных лазеров ($L = 3$ мм) составляют 200 А/см². При уменьшении длины резонатора наблюдается сначала медленный рост пороговой плотности тока, а затем при $L < 1$ мм происходит быстрое сверхлинейное возрастание $I_{п}$.

При длинах резонаторов, начиная с которых имеет место быстрый рост пороговой плотности, положение линии генерации скачкообразно смещается в область больших энергий, соответствующих переходам между вторыми подзонами электронов и тяжелых дырок (переходы 2-2, рис. 1). Аналогичные эффекты наблюдались нами

¹ Измерения выполнялись при импульсном пропускании тока ($\tau_{п} = 1$ мкс, $f = 500$ Гц).

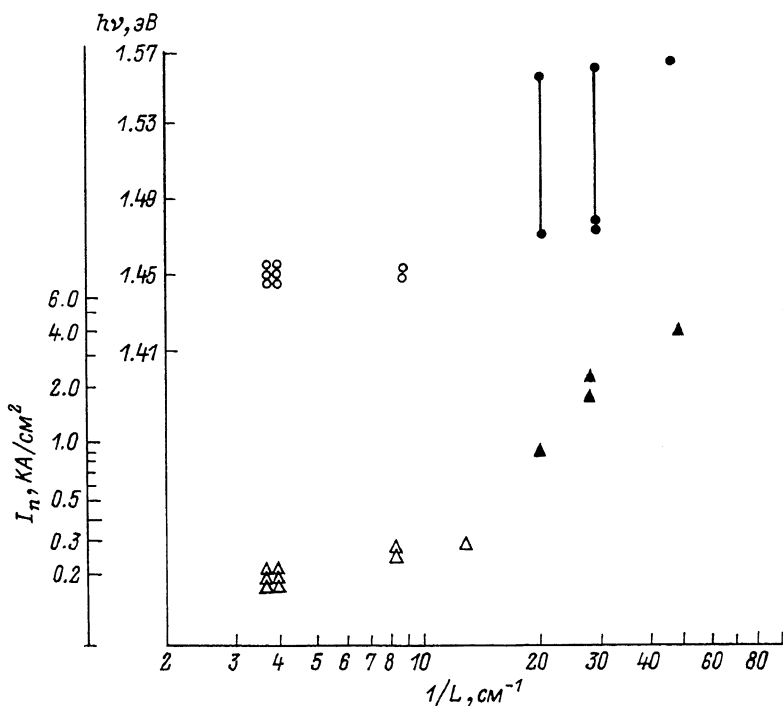


Рис. 1. Зависимости от обратной длины резонатора пороговой плотности тока (точки в виде треугольников) и энергии в максимуме линии генерации (точки в виде кружков) в оксидно-полосковых МОГФЭ РО $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ лазерах (белые точки для лазеров с шириной полоска $W = 200 \mu\text{м}$, черные - $W = 60 \mu\text{м}$).

для $\text{InGaAsP}/\text{InP}$ и $\text{InGaAsP}/\text{GaAs}$ лазеров [2, 3], а также авторами работы [4] для $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ лазеров, изготовленных методом молекулярной эпитаксии. Причиной этих эффектов является нелинейный характер зависимости усиления от тока накачки в области больших усилений (насыщение усиления). Более подробное количественное рассмотрение этих эффектов в квантово-размерных лазерах с различными параметрами будет проведено в последующих публикациях.

Измерения дифференциальной эффективности (η_d) показали, что в оксидно-полосковых лазерах с длиной резонатора около 3 мм лучшие значения η_d составляют около 60 %, а наибольшие эффективности для образцов с $L \approx 1$ мм могут достигать 95 %. Таким образом, лазеры с длинным резонатором, имеющие низкие пороговые плотности тока и высокие значения η_d , являются оптимальными для получения больших оптических мощностей непрерывного излучения. На рис. 2 приведены непрерывные ватт-амперные характеристики двух питаемых на теплопроводы [5] полосковых

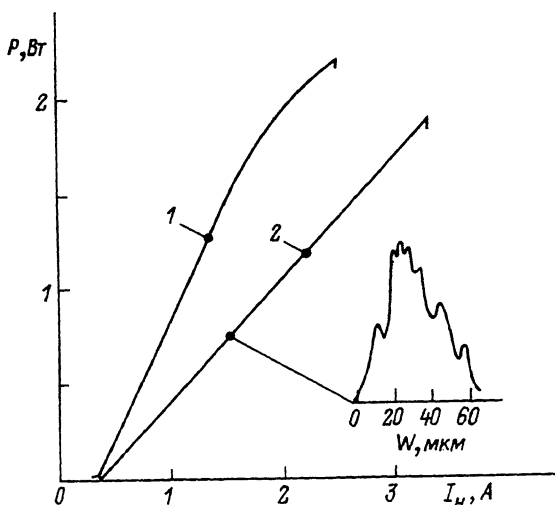


Рис. 2. Непрерывные ватт-амперные характеристики полосковых МОГФЭ РО-лазеров: 1 - образец № 5а - 1847; 2 - образец № 11з - 1847.

| № обр. | Конструкция полоска | L , мм | W , мкм | λ_r , мкм | I_n , А/см ² | η_d , % | КПД, % | Примечание |
|----------|---------------------|----------|-----------|-------------------|---------------------------|--------------|--------|--------------------|
| 5а-1847 | оксид. пол. | 1.56 | 60 | 851 | 354 | 95 | 59 | - |
| 11з-1847 | оксид. пол. | 0.9 | 100 | 852 | 445 | 63 | 45(50) | Зеркало Si/SiO_2 |
| 16м-1847 | зар. меза | 0.51 | 5.8 | 849 | 815 | 80 | - | - |
| 33м-1847 | зар. меза | 0.51 | 5.8 | - | 1520 | 46 | 21 | Зеркало Si/SiO_2 |
| 35м-1847 | зар. меза | 0.53 | 5.8 | - | 490 | 71 | 31 | Зеркало Si/SiO_2 |

МОГФЭ РО-лазеров, параметры которых суммированы в таблице. Лазер 5 а - 1847 с шириной полоска 60 мкм не имел дополнительных отражающих покрытий, тем не менее по максимальной плотности излучаемой мощности на единицу длины зеркала (≈ 30 мВт/мкм) этот образец уступает лучшим опубликованным данным [6] менее чем в 2 раза. Образец 11з-1847, имевший глухое Si/SiO_2 диэлектрическое зеркало на тыльном зеркале резонатора, обеспечивал примерно такую же мощность излучения, как и лазер 5а - 1847 (~ 2 Вт) при токах в 1.5 раза меньших. КПД для данного лазера в диапазоне мощностей 1-2.3 Вт составлял 50-45%. Наибольшие

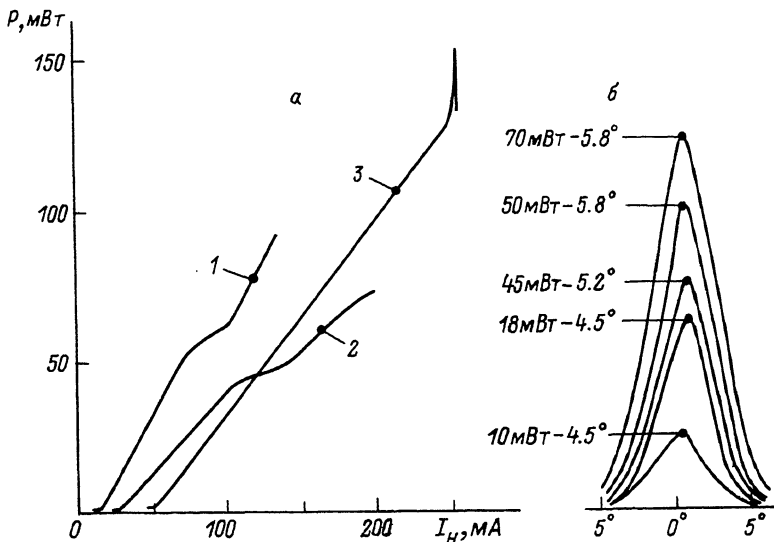


Рис. 3. а) Непрерывные ватт-амперные характеристики зарощенных МОГФЭ РО-лазеров: 1 - образец № 35м - 1847, 2 - образец № 16м - 1847, 3 - образец № 33м - 1847. б) Диаграммы направленности излучения мезаполоскового зарощенного лазера № 16м - 1847 в плоскости структуры при разных токах накачки.

мощности излучения (~ 2 Вт) были получены в лазерах с наиболее однородной картиной распределения ближнего поля. Типичная картина такого распределения при высоких мощностях показана на вставке рис. 2. Полуширина диаграммы направленности излучения в плоскости структуры вблизи порога генерации составляла около 2° и увеличивалась до 5° при мощности, превышающей 1 Вт. Полуширина полосы генерации при этих мощностях была около $20-30 \text{ \AA}$.

Кроме лазеров с широкими полосками из структуры 1847 были изготовлены также непрерывные зарощенные лазеры с более узкой излучающей областью. С этой целью, с использованием SiO_2 -маски в лазерных структурах травлением изготавливались мезы типа „ласточкин хвост“, поперечный размер которых на поверхности структур был около 10 мкм , а на глубине $\approx 2.5 \text{ мкм}$, соответствующей положению GaAs-активной области около 6 мкм . Затем структура с вытравленными мезами зарощивалась в МОГФЭ-установке полуизолирующим слоем $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ толщиной около 1 мкм . После чего проводились фотолитографические операции по вскрытию окна на поверхности мез и напылялись омические контакты.

Непрерывные ватт-амперные характеристики трех зарощенных лазеров, записанные после их напайки на теплоотводы, показаны на рис. 3, а. Длины резонаторов этих лазеров составляли около 0.5 мм. На торец одного из этих лазеров до напайки было нанесено отражающее Si/SiO_2 покрытие. Как видно из рис. 3, а, несмотря на сравнительно большую длину резонатора, минимальное значение порогового тока для одного из лазеров было около 15 мА (кривая 1); типичные значения порогов равнялись 25–30 мА. Максимальная мощность непрерывного излучения, ограничиваемая оптической прочностью зеркала, превышала в лучших образцах 100 мВт (кривая 3), а обычно составляла 70–80 мВт (кривые 1, 2). У большинства образцов при выходной мощности излучения 40–60 мВт в ходе ватт-амперной характеристики имел место излом (в случае кривой 3 излом смещен в область мощностей, превышающих прочность зеркала). В области мощностей соответствующих начальному линейному участку ватт-амперной характеристики диаграммы направленности излучения в плоскости структуры состояли из одного лепестка, их полуширины (Ω) практически не зависели от тока накачки и были близки к дифракционному пределу: $\Omega \approx 5^\circ$ (рис. 3, б). Дальнейшее повышение мощности сопровождалось расширением диаграммы направленности в плоскости структуры (кривые 2, 3 рис. 3, а). Этот результат и ряд других измерений показывают, что линейным участкам ватт-амперных характеристик для рассматриваемых зарощенных МОГФЭ РО-лазеров (вплоть до мощностей 40–60 мВт, а в некоторых образцах – до 100 мВт) соответствует режим одномодовой генерации.

Полученные результаты свидетельствуют, по нашему мнению, о том, что разработанная на базе отечественных узлов МОГФЭ установка обеспечивает как выращивание квантово-размерных лазерных структур с параметрами, соответствующими мировому уровню ($I_n \leq 200 \text{ А/см}^2$; $\eta_d \approx 90\%$), так и создание на их основе одномодовых лазеров методом зарощивания полуизолирующими слоями $AlGaAs$.

В заключение авторы благодарят Т.Н. Дрокину, А.Н. Ермакову, Н.Д. Ильинскую за вклад, внесенный в выполнение данной работы.

Л и т е р а т у р а

- [1] Алферов Ж.И., Гарбузов Д.З., Жигулин С.Н., Кузьмин И.А., Орлов Б.Б., Синицын М.А., Стругов Н.А., Токранов В.Е., Явич Б.С. ФТП. 1988. Т. 22 (в печати).
- [2] Алферов Ж.И., Гарбузов Д.З., Зайцев С.В., Нивин А.Б., Овчинников А.В., Тарасов И.С. ФТП. 1987. Т. 21. В. 5. С. 824–829.
- [3] Гарбузов Д.З., Тикуннов А.В., Жигулин С.Н., Соколова З.Н., Халфин В.Б. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 6. С. 1035–1039.

- [4] Mittelstein M., Arakawa Y., Larson A., Yariv A. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 49. N 22. P. 1680-1691.
- [5] Алферов Ж.И., Антонишкис Н.Ю., Арсентьев И.Н., Гарбузов Д.З., Колышкин В.И., Налет Т.А., Стругов Н.А., Тикуннов А.В. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 6. С. 1031-1034.
- [6] Welch D.F., Chan B., Streifer W., Scifres D.R. // Electronics letters. 1988. V. 24. N 2. P. 113-115.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
3 ноября 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 1 12 января 1989 г.
07; 08; 11; 12

ОБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ
СТРУКТУР ПРИ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ
КАПСУЛИРОВАННЫХ ОСТРОВКОВ КРЕМНИЯ
ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ
НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

А.В. Демчук, В.А. Лабуннов

В данной работе сообщается об образовании нового типа поверхностных периодических структур (ППС), возникающих при перекристаллизации импульсным лазерным излучением наносекундной длительности островков поликристаллического кремния (ПКК), капсулированных слоем нитрида кремния.

В качестве экспериментальных образцов использовали термически окисленные пластины монокристаллического кремния с толщиной слоя SiO_2 равной 0.4 мкм, на которые методом химического осаждения из паровой фазы при пониженном давлении ($P=80$ Па) и температуре ($T=625\pm 25$ °C) осаждали слой ПКК толщиной 0.33 мкм. На слой ПКК методом химического осаждения из паровой фазы при нормальном давлении и $T=930\pm 10$ °C осаждали слой Si_3N_4 толщиной 0.1 мкм. После чего с использованием фотолитографии и последовательного плазмохимического травления слоев Si_3N_4 и Si формировали островки ПКК всевозможной топологии.

Обработку поверхности кремниевых структур осуществляли излучением лазера на неодимовом стекле с длиной волны, равной 0.53 мкм (вторая гармоника), работающего в режиме модулированной добротности с длительностью импульса 50 нс, с плотностью энергии в импульсе, варьируемой с помощью нейтральных калиброванных светофильтров в диапазоне 0.1-2 Дж/см² с точностью ± 10 %.